

Principe de l'échographie

Les ultrasons sont des ondes acoustiques sonores inaudibles pour l'homme dont le domaine spectral s'étend de 20 kHz à 10 MHz . Ils sont utilisés pour réaliser des images médicales autorisant des diagnostics pour les organes internes du corps humain.

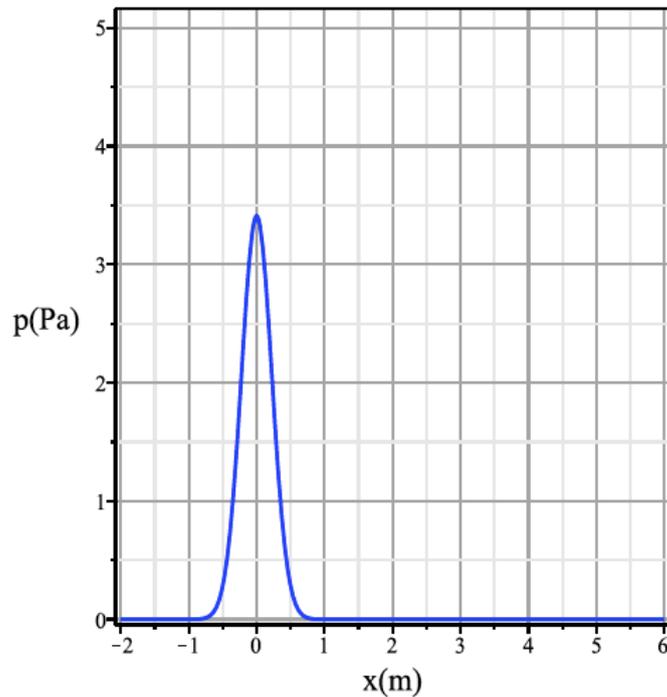
Une sonde émettrice envoie des salves d'impulsions ultrasonores et détecte les échos engendrés par réflexion partielle sur les tissus du corps humain. L'intervalle de temps entre l'émission d'une impulsion et la réception de l'écho permet de localiser l'élément de tissu échogène. L'intensité de l'écho permet de détecter la nature du tissu. Un balayage des régions sondées permet de reconstituer une image bidimensionnelle.

I. Généralités sur les ondes sonores

1. Qu'est-ce qu'une onde sonore ? Quelle est la grandeur physique qui se propage ?
2. A quelle fréquence l'oreille humaine est-elle sensible ?
3. On redonne la vitesse du son dans l'air $C_s \approx 340\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Donner le domaine de longueurs d'onde correspondant aux fréquences précédentes.

II. Généralités sur les ondes progressives

1. Donner l'expression générale d'une onde sonore $p(x,t)$ progressive (unidimensionnelle) dans le sens des x croissants en fonction du temps t , de la position x et de la célérité de l'onde dans le milieu C_s .
2. La figure ci-dessous donne l'allure spatiale de la pression $p(x,t)$ à l'instant $t = 0$. Représenter sur un même graphique l'allure spatiale de la pression à l'instant $t_1 = 11,8\text{ ms}$. Justifier. On mentionnera les abscisses importantes sur le graphe.



3. Un capteur est positionné en $x_0 = 3 \text{ m}$. Représenter la pression au cours du temps en x_0 . Que vaut la largeur temporelle de l'onde ?
4. Que devient l'expression de $p(x,t)$ si l'onde se propage dans le sens des x décroissants ?

III. Principe de l'échographie

1. Propriétés acoustiques dans les milieux biologiques

Les tissus sont caractérisés par leur masse volumique ρ_0 et leur compressibilité χ . La célérité des ondes sonores dans un milieu vaut

$$C_s = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi}}$$

Une autre propriété, appelée impédance acoustique Z vaut

$$Z = \sqrt{\frac{\rho_0}{\chi}}$$

Elle intervient dans la réflexion ou transmission d'une onde entre deux milieux de propagation différents. L'onde réfléchie est d'autant plus intense que la différence d'impédance entre les deux milieux est grande.

- i) Les milieux biologiques, autre que les os et les poumons, ont des caractéristiques physiques proches de celle de l'eau : $\rho_0 = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ et $\chi = 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$. Déterminer la célérité du son C_{mb} et l'impédance Z_{mb} dans les milieux biologiques.

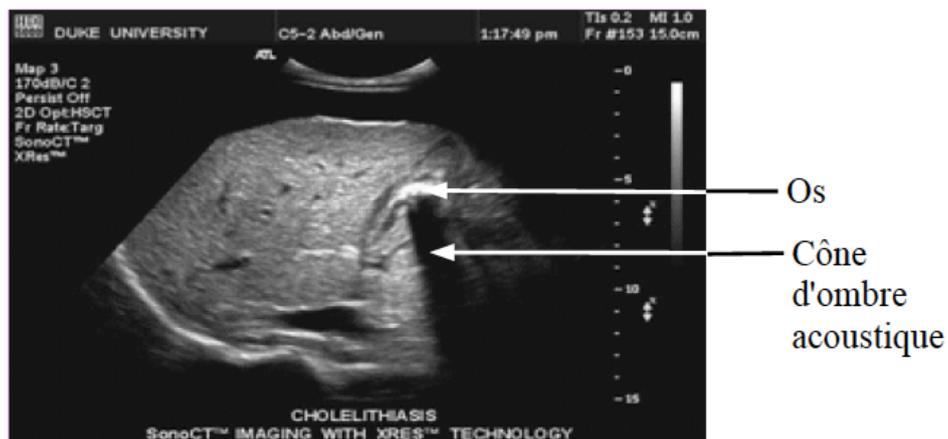
- ii) On donne pour un os $\rho_0 = 1900 \text{ kg.m}^{-3}$ et $\chi = 3,3.10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$. Déterminer la célérité du son C_{os} et l'impédance Z_{os} dans les milieux osseux.

2. Application pratique à l'échographie

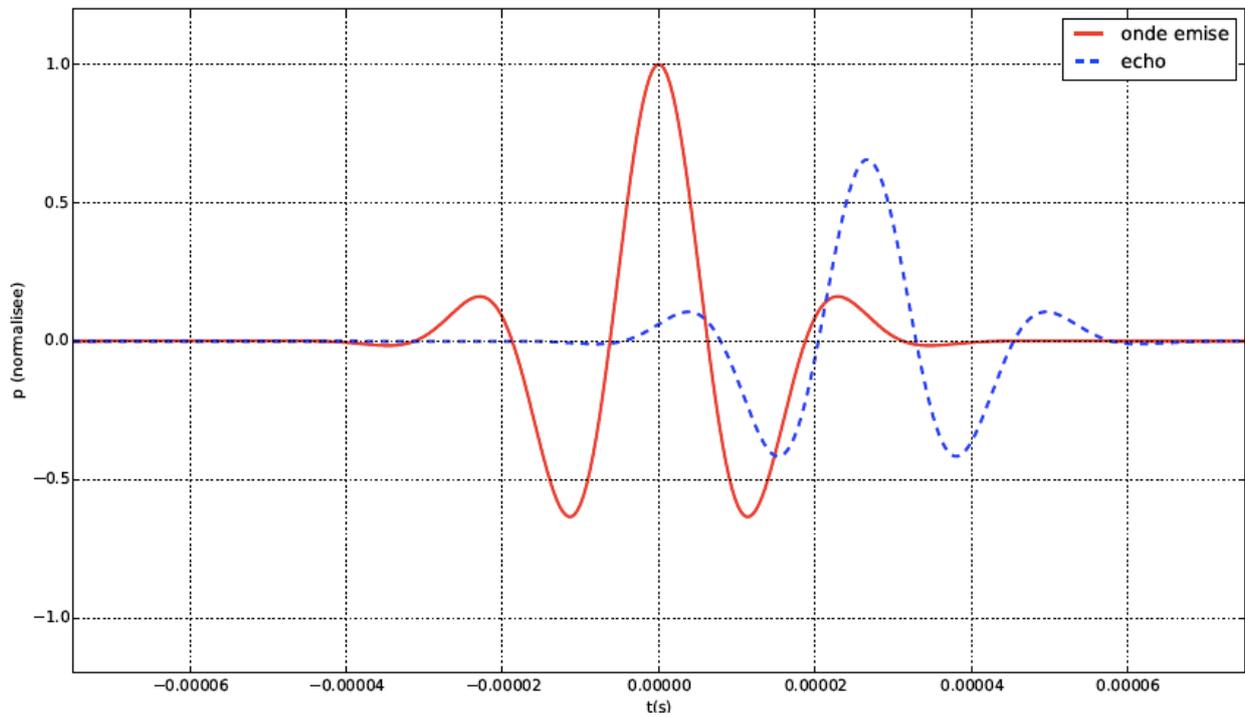
On donne dans le tableau suivant les valeurs numériques des impédances acoustiques de quelques milieux biologiques :

Milieu	Air	Graisse	Tissou mou	Foie	Muscle	Squelette
$Z(\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$	400	$1,36.10^6$	$1,62.10^6$	$1,66.10^6$	$1,71.10^6$	$7,80.10^6$

- i) En considérant l'interface tissu mou-air, montrer qu'il est nécessaire d'éviter la présence d'un film d'air entre la sonde et la peau. En pratique, on utilise un gel .
- ii) L'imagerie du cerveau par échographie n'est pas aisée en raison d'un phénomène d'ombre acoustique (ce phénomène est illustré dans un autre contexte comme illustré sur la figure). Expliquer pourquoi.



- iii) Sur le graphe figure suivante, On donne l'impulsion ultrasonore à l'instant de son émission et son écho à l'instant de sa réception par la sonde. Dans quel sens l'onde réfléchie se propage-t-elle ? Déterminer numériquement la profondeur de l'organe détecté par cet écho. On pourra faire une hypothèse justifiée sur la célérité de l'onde ultrasonore.



iv) En considérant les tissus biologiques comme peu absorbant, l'amplitude de l'onde réfléchie est par $A' = rA$ où A est l'amplitude de l'onde incidente et r est le coefficient de réflexion de la cible défini par :

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

avec Z_1 l'impédance du milieu incident et Z_2 l'impédance de l'échogène. Déterminer la nature du tissu échogène.